

国产 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 晶体闪烁性能的研究

张天保 祝玉灿 王海东 王亚东

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

任绍霞 肖红 张瑾

(北京玻璃研究所, 北京 100062)

摘 要

在 BaF_2 中掺入 1% mol 的 LaF_3 结晶出 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 晶体, 经测试, 此晶体闪烁发光快成份的强度比纯 BaF_2 晶体不减弱, 而发光慢成份被抑制约 4 倍, 耐辐照能力可以达到 10^6rad , 表明新晶体有希望满足未来高能物理实验的要求。

一、引 言

氟化钡 (BaF_2) 是一种高密度无机闪烁晶体, 它有一个寿命很短 (0.6ns) 的发光成份^[1], 作为核探测器具有优良的时间分辨性能及其它特点, 可以用在高能和低能物理实验中^[2,3]. 纯的 BaF_2 晶体还有一个长的 (0.6 μs) 发光成份, 其强度约为短成份的 4 倍. 在高计数率实验的情况下, 例如对高能物理实验及核医学工作, 长成份会增大噪声本底并造成计数堆积, 表现为有害成份. Schotanus 等人^[4]发现在 BaF_2 中掺入 La 可以有效地抑制长成份, 之后人们还掺入其它杂质元素进行研究^[5]. 为了发展我国的 BaF_2 探测技术, 我们在国内首次结晶出掺 La 为 1% 的 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 晶体, 进行了包括耐辐照能力在内的诸项性能测试, 初步结果表明, 这种新晶体有希望满足未来的实验要求。

二、实 验

1. 实验方法

$\text{BaF}_2(\text{La})$ 晶体由北京玻璃研究所制备. 曾结晶出两根坯料, 从每根上各取一段加工成圆柱形晶体, 表面全抛光, 尺寸分别为 $\phi 27\text{mm} \times 13\text{mm}$ 和 $\phi 27\text{mm} \times 10\text{mm}$. 事先测量发现尺寸为 $\phi 27\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的晶体性能较好, 将它用于耐辐照实验, 辐照源为中国科学院生物物理研究所的 ^{60}Co γ 源, 以 11.7rad/s 的剂量率辐照累积到 $1.0 \times 10^6 \text{rad}$ 总剂量. 晶体在辐照后 110 天进行过退火处理。

为了对晶体在辐照前后各阶段的性能进行比较测试,需要多次重复地把它装成射线探测器:围三层白色聚四氟乙烯生料带作闪烁光的反射体,用 DC-200 硅油把晶体耦合在光电倍增管 XP2020Q 光阴极窗的中心处,置入暗盒并加磁屏蔽,加同样的负高压工作等,此外,用一个封装好的纯 BaF_2 晶体随时作替换测量以监视系统的电子学漂移。

探头设置快和慢两种输出,快信号直接由光电倍增管阳极引出,用于时间分辨测量,或经定时滤波放大器成形为 10ns 宽度的脉冲,再经展宽用于晶体发光快成份的能谱测量和光电子产额测量。慢信号由光电倍增管第 10 打拿极引出,经放大器成形为 10 μs 脉冲,用于晶体发光总成份的能谱测量和光电子产额测量。多道分析器为 Canberra 公司产 S30 型 1024 道分析器。

用 ^{60}Co 、 ^{22}Na 、 ^{137}Cs 和 ^{241}Am 各 γ 射线的能峰位置标定探测器的线性,用 ^{137}Cs 的 662keV γ 射线能峰的相对宽度值标定能量分辨。

用与单电子脉冲平均高度相比较的方法来测量 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 闪烁光快慢成份的光电子产额,方法要点可参见文献[6]。概括地说,是在脉冲成形 10 μs 条件下测出光电倍增管光阴极发射单电子所给出的脉冲高度分布,由此求出平均高度 \bar{H} ,在同样仪器条件下(或加线性衰减)测量 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 及塑料闪烁体 NE111 对 ^{137}Cs 和 ^{241}Am γ 射线所产生的脉冲高度,与 \bar{H} 值相比较定出 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 发光总成份光电子产额及 NE111 的光电子产额,把脉冲成形时间换为 10ns (这时 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 发光慢成份已滤除),比较 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 与 NE111 的脉冲高度,定出 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 的快成份光电子产额,由总产额中扣除快成份产额得出 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 发光慢成份的光电子产额。

安装了两个探测器的探头,使用已有的正电子寿命谱仪的电子学插件(只用快电路),测 ^{60}Co 双 γ 射线的瞬发符合分辨曲线,由曲线的宽度定出时间分辨。

2. 实验结果

$\text{BaF}_2(\text{La})$ 晶体在辐照前无色透明,表面有细纹,经 24 小时 γ 辐照,呈鲜红色,数小时内渐呈淡黄色,再长时间后,目视为无色透明,但有强烈自发光^[7],成为探测器噪声本底。晶体在暗盒中静置一天,自发光消失,可进行正常测量,如晶体再曝光,仍出现自发光,但经退火处理后,自发光现象不再出现。

表 1 列出尺寸为 $\phi 27\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 晶体在 γ 辐照前后各时间总成份和快成份光电子产额及能谱分辨测量结果,至于尺寸为 $\phi 27\text{mm} \times 13\text{mm}$ 的那块晶体,其快成份光电子产额明显低 1/3,其它略同,不再列出。

表 1 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 辐照前后的光电子产额及能量分辨

		辐照前	辐照后			误差
			11 天	110 天	200 天	
总成份	光电子产额 (1/MeV)	673	538	666	690	± 30
	能量分辨 (^{137}Cs)(%)	16	17	15.1	16.3	± 1.7
快成份	光电子产额 (1/MeV)	404	347	363	391	± 15
	能量分辨 (^{137}Cs)(%)	24	27	25.4	25	± 1.2
备 注				退火处理		

由表 1 的数据看出, $BaF_2(La)$ 发光快成份的光电子产额约为 400 光电子/MeV, 和纯 BaF_2 发光快成份的光电子产额^[1]大体一致, 表明掺 La 后没有使快成份减弱。但 $BaF_2(La)$ 发光慢成份光电子产额约在 270—300 光电子/MeV, 比纯 BaF_2 的降低约 4 倍。又看出, $10^6 rad$ 的 γ 辐照使闪烁光强降低 20%, 但通过一定的处理和等待可以恢复。

图 1 给出经辐照和恢复的 $BaF_2(La)$ 的 γ 能谱(对 ^{137}Cs 和 ^{22}Na 源), 它与辐照前的情况无显著变化。由 ^{137}Cs 的 662keV γ 峰计算出能量分辨率为 16%, 它明显劣于纯 BaF_2 的能量分辨^[8], 这可归因于 $BaF_2(La)$ 晶体的总光电子产额减少而统计涨落增大。

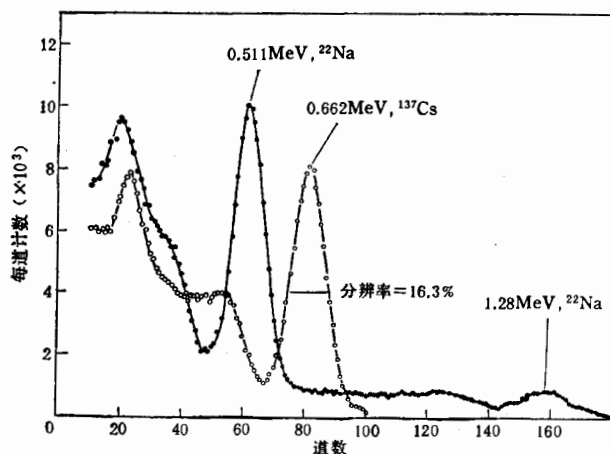


图 1 经辐照和恢复的 $BaF_2(La)$ 探测器的 γ 能谱图

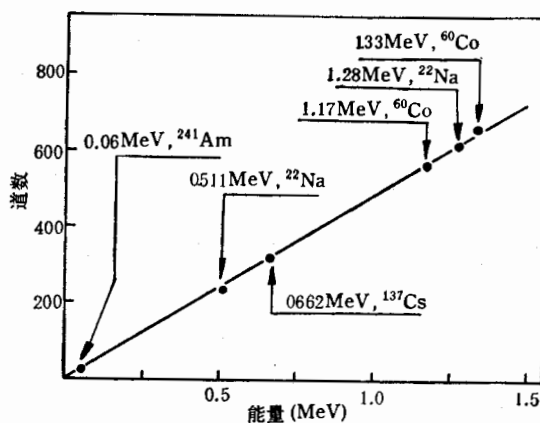


图 2 经辐照和恢复的 $BaF_2(La)$ 探测器的能量线性

图 2 给出经辐照和恢复的 $BaF_2(La)$ 探测器的能量线性图, 可以看出, 线性关系仍然是好的。

表 2 给出时间分辨的测试结果, 停止道固定为经辐照和恢复的 $BaF_2(La)$ 探测器, 起始道用未经辐照的 $BaF_2(La)$, 因这块晶体快成份的强度弱, 曾用纯 BaF_2 ($\phi 20mm \times 10mm$, 快成份光电子产额为 357 光电子/MeV) 替换作测量。图 3 给出最后一种条件下测

得的 ^{60}Co 双 γ 瞬发符合曲线, 得出半高宽值 $\text{FWHM} = 158\text{ps}$, 因起始和停止两晶体的快成份强度大致相同, 可得出 $\text{BaF}_2(\text{La})$ (经辐照) 晶体对时间分辨的贡献为

$$158/\sqrt{2} = 112\text{ps}.$$

表2 时间分辨测试结果(用 ^{60}Co 源)

起始道		停止道		时间分辨 (ps)		
晶体	能窗 (MeV)	晶体	能窗 (MeV)	FWHM	FW 0.1M	FW 0.01M
$\text{BaF}_2(\text{La})$ 未辐照	0.7—1.4	$\text{BaF}_2(\text{La})$ 辐照	0.7—1.4	200	363	525
$\text{BaF}_2(\text{La})$ 未辐照	1.1—1.4	$\text{BaF}_2(\text{La})$ 辐照	1.1—1.4	173	320	462
纯 BaF_2 $\phi 20 \times 10$	1.1—1.4	$\text{BaF}_2(\text{La})$ 辐照	1.1—1.4	158	292	404

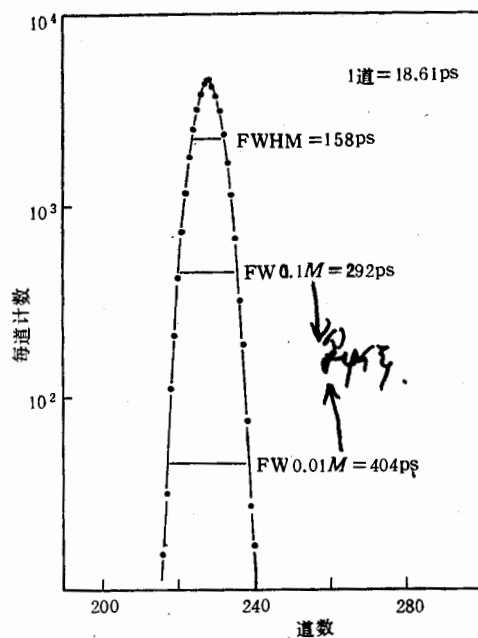


图3 ^{60}Co 双 γ 瞬发符合曲线, 起始道: 纯 BaF_2 , 能窗 1.1—1.4 MeV; 停止道: $\text{BaF}_2(\text{La})$, 能窗 1.1—1.4 MeV

三、讨 论

1. 高能物理实验中, 探测器所在位置有较大射线剂量, 例如在未来超导对撞机 SSC 的工作区, 年累积剂量预计为 10^4 — 10^6rad . 国产 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 目前耐“冲击”剂量达 10^6rad 并能恢复, 表明它有希望得到应用.

2. 核医学中所使用的放射性同位素一般说是寿命短但强度大, 估计探测器的辐射损伤问题不严重, 但计数堆积问题也会存在, 所以抑制慢发光成份(目前为 4 倍)是有意义

的。

3. 继续改进国产 $\text{BaF}_2(\text{La})$ 性能的研究工作是应该进行的, 例如稳定结晶工艺、改进晶体的均匀性、进一步抑制慢发光成份、结出大块晶体、设计简便易行的退火流程等都是必要的。

作者对生物物理所林桂京同志在辐照工作中给予的协助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] M. Laval, M. Moszynski, R. Allemans, E. Cormereche, P. Guinet, R. Odru and J. Vacher, *Nucl. Instr. Methods*, 206(1983), 169.
- [2] R. Y. Zhu, 'A High Resolution BaF_2 Crystall Array', CALT-68-1566, DOE RESEARCH AND DEVELOPMENT REPORT, the International Industrial Symposium on SSC, January, 1989.
- [3] T. Chang, D. Yin, C. Cao, S. Wang and J. Liang, *Nucl. Instr. Methods in Physics Research*, A256(1987), 398.
- [4] P. Shotanus, et al., *ibid.*, A281(1989), 162.
- [5] H. Mn, et al., 'Development and Precise Calibration of a High Resolution BaF_2 Crystal Array', CALT-68-1517, DOE RESEARCH AND DEVELOPMENT REPORT, 1989.
- [6] 张天保 唐孝威 张勤建, 高能物理与核物理, V7(1983), 674.
- [7] 宫竹芳等, 核技术, V. 11N. 7(1988), 39.
- [8] Y. Zhu, J. Lu, J. Li, Y. Shao, H. Sun, B. Dong, G. Zhou, Z. Zheng, F. Cui, C. Yu, *Nucl. Instr. Methods in Physics Research*, A244(1986), 577.

Investigation of the Scintillation Properties of Domestic $\text{BaF}_2(\text{La})$ Crystal

ZHANG TIANBAO ZHU YUCAN WANG HAIDONG WANG YADONG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

REN SHAOXIA XIAO HONG ZHANG JIN

(Beijing Glass Research Institute, 100062)

ABSTRACT

$\text{BaF}_2(\text{La})$ crystal has been grown with 1% mole of LaF_3 doped in BaF_2 and the scintillation properties of the new crystal have been investigated before and after a γ irradiation of ^{60}Co source. The radiation resistance of the domestic crystal can be up to a dose of 10^9 rad. Comparing with a pure BaF_2 scintillator, it was found that the fast component of the $\text{BaF}_2(\text{La})$ scintillator was almost no change but its slow component was suppressed to a factor of 4.